자연조명과 인공조명이 병행 적용된 하이브리드 디밍제어시스템의 성능평가

Performance Evaluation of Applied to Natural Light and Artificial Lighting Hybrid Dimming Control System

성태경* · 이충식* · 김병철* · 정채봉*† · 강승훈**

Sung, Tae-Kyung*, Lee, Chung-Sik*, Kim, Byung-Chul*, Joung, Che-Bong*† ,
Kang, Seung-Hoon**

(Submit date : 2014. 4. 25., Judgment date : 2014. 4. 25., Publication decide date : 2014. 6. 18.)

Abstract : In this paper, the performance of Hybrid Dimming control system for Daylighting system is evaluated by accredited tests. The system controls the balance of illuminance of daylight between daylight system and LED light system. It makes the normal illuminance of interior without the effects of weather by controlling the LED depending on the brightness of outside. For the tests, 6 diffusers(600x300mm) were installed in lighting area(36m²) and normal operation of the system sensors were tested about the interference of sunlight. The results of the examinations were satisfied with the criteria of accredited tests. Further research is the verification of energy saving effect by comparing the Hybrid Dimming control system to current artificial light system.

Key Words : 자연조명(태양광조명)시스템(Daylighting system), 디밍제어(Dimming control), 조명에너지 절감(Illumination energy saving), 하이브리드 산광부(Hybrid light diffuser)

1. 서 론

최근 전력소비성수기에 전력수급의 불안정

으로 인한 정전대란 등 어려움을 경험했다. 조
명관련 소비전력은 대형화, 초 고층화되고 있는
현대 건축물을 고려할 때 30% 이상으로 확대되

*† 정채봉(교신저자) : ㈜에이비엠그린텍 기술연구소
E-mail : cbjoung@abmarch.co.kr, Tel : 051-759-8632
*성태경 : ㈜에이비엠그린텍 기술연구소
*이충식 : ㈜에이비엠그린텍 기술연구소
*김병철 : ㈜에이비엠그린텍 기술연구소
**강승훈 : 한화건설 기술연구소

*† Joung Che-Bong(corresponding author) : Research Institute
of Technology, ABM GreenTech Co., Ltd.
E-mail : cbjoung@abmarch.co.kr, Tel : 051-759-8632
*Sung Tae-Kyung, Lee Chung-Sik, Kim Byung-Chul :
Research Institute of Technology, ABM GreenTech Co., Ltd.
**Kang Seung-Hoon : Research Institute of Technology,
Hanhwa Engineering&Construction Co., Ltd.

고 있는 실정이다. 이러한 이유로 쾌적한 실내 조명환경을 확보하면서 조명에너지를 절감할 수 있는 주광제어 기술이 다시 주목받고 있다¹⁾.

주광제어 기술은 기존의 천창 및 측창 등을 이용한 소극적인 태양광 이용 방식에서 탈피하여 다양한 하드웨어를 이용한 적극적인 방법으로 태양광을 실내로 유입시켜 조명화하는 기술들이 연구되고 있다. 태양광 추적여부에 따라 고정식과 추적식 시스템으로 구분되며 개별 방식들의 사용용도와 사용목적에서 명확하게 차별화되는 기술이다.

그러나, 주광제어 기술은 태양광을 직접 실내공간으로 유입시켜 조명화하는 기술에 기반을 두고 있으므로 태양광을 활용할 수 없는 흐린 날, 야간 등에는 조명의 역할을 수행할 수 없는 치명적인 문제점이 있다.

최근 LED 조명의 밝기 조절을 위한 디밍기술이 개발되어 다양하게 적용되고 있다. 기존의 개폐형 스위치를 훨씬 능가하는 수준의 새로운 제어시스템이 다양하게 등장하고 있으며, 일정하고 고른 조도분포를 선호하던 범주에서 채도 및 작업의 종류에 따라 공간적, 시간적으로 변화할 수 있는 새로운 조명제어가 중요시되고 있다. 또한, 실 사용 공간에서 필요한 소요조도를 설정하고 자연광으로 많은 부분을 대체토록하고 부족분에 대해 인공조명 제어를 통해 에너지 절감효과를 향상시킬 수 있다²⁾.

디밍제어는 자연채광의 정도에 따라 인공조명을 on/off 또는 그 밝기를 조절하기 위해 사용되며, 시간이 지남에 따른 조도의 감소, 전구 및 조명기구의 교체 등에 대한 판단을 할

수 있게 한다. 또한, 바람이 강하고 조각구름이 많은 갠 날에 구름의 그림자에 의한 빈번한 실내면의 밝기 변화 등에 대해 인공조명의 조절로 빛의 상태를 일정하게 유지토록 하여 쾌적성을 높일 수 있다³⁾.

그러나 기존 기술은 인공조명 제어분야에서 많은 진전이 이루어졌지만 태양일주운동하는 태양광의 유입 정도를 실시간 감지하고 이 신호를 인공광원과 연동시켜 제어하는 기술은 미진한 상태이다. 따라서, 본 논문에서는 자연조명(태양광)과 인공조명(LED)을 센서를 이용하여 동시에 감지하고 이를 통해 인공광원의 밝기를 자동으로 조절하여 설정된 기준조도를 만족할 수 있도록 하이브리드 디밍시스템 개발 및 성능평가를 통해 디밍시스템의 성능을 검증하고자 한다.

본 논문의 구성은 제2장에서 일반적인 디밍기술을 소개하고, 제3장에서 제안된 하이브리드 디밍기술을 소개하고, 제4장에서 디밍시스템에 대한 성능평가 및 분석, 그리고 제5장에서 결론을 맺고자 한다.

2. 디밍시스템의 개요

디밍시스템은 조명의 밝기를 사용자 환경에 맞추어 빛의 밝기를 조절하여 전력 사용량 절감과 동시에 조명에너지 사용환경을 최적화시키는 제어 솔루션이다. 디밍제어 기술은 아크방전식 전등분야에서 20여년동안 발전해 왔으며, 최근 LED용 디밍제어 기술도 상당한 수준에 이르렀다. 디밍 기술은 단순히 다양한 작업과 기분에 따라 조명레벨을 조절하는 장치에서 출발하여 현재에는 조명에너지 절감을 위

1) Han. S.P., A Study on Daylighting Control Method for Securing Visual Comfort and Reducing Lighting Loads on Interior Lighting Environment, Journal of the Korea Solar Energy Society, Vol. 32, No. 6, 2012, pp.100~105.

2) Choi. S.H., Kim. H.B., Gang. S.D., and Nam. S.B., Interior Architectural Lighting, Kimoondang, 2007.

3) Park. H.J., Lee. D.H., Lighting Hand Book, Sungandang, 2010.

한 도구로 인식되고 있으며, 광출력의 감소는 단계 혹은 연속 기능으로 이루어질 수 있다⁴⁾.

Fig. 1에는 일반적인 LED 조명제어 모듈의 구성 및 동작을 보인다. 일반적인 LED용 디밍제어는 통신 네트워크를 통해 디밍 설정 데이터를 전송받아 ‘색상조합 및 변환기’와 ‘PWM 신호발생기’를 이용하여 LED 드라이버를 제어한다.

색상조합 및 변환기는 다양한 색상 및 백색의 표현 방법에 의해 주어진 값을 RGB LED 및 주어진 색온도에 적합한 제어 신호 데이터로 변환하는 역할을 한다.

Fig. 1 Construction of LED illumination control module

PWM(Pulse with Modulation) 신호발생기는 개별적인 LED를 제어하기 위한 PWM 신호를 생성하고 LED 드라이버 인터페이스를 통해 PWM 신호를 송신한다. 만약 다수의 LED 어레이를 사용하는 경우에는 채널별로 제어 신호를 송신한다. LED는 주변환경, 시간의 경과, LED 자체 특성에 의해 발광 특성이 달라지게 되며 ‘LED 감지 및 보상회로’는 이

를 보정하는 역할을 수행한다. 네트워크 인터페이스는 제어장치 및 관리기를 설치할 수 있는 자유도가 높고 설치비용이 절약되는 이유로 주로 무선통신을 사용하며, 특히 최근에는 ZigBee 프로토콜이 널리 사용되고 있다⁵⁾⁶⁾.

3. 제안된 하이브리드 디밍시스템

하이브리드 디밍제어 기술이란 자연조명(태양광 조명)과 LED/형광등 인공조명을 병행하여 사용하는 것으로 사용자가 설정한 일정 조도 이하로 자연광원의 밝기가 낮아질 경우, 자동으로 인공조명이 동작하도록 제어하여 실내 조명부는 외부 기상상황과 상관없이 항상 일정한 조도를 유지할 수 있도록 하는 기술을 의미하며 개념은 Fig. 2와 같다.

Fig. 2 Conceptual of hybrid dimming technology

디밍제어 기술은 Fig. 2에 보이는 바와 같이 광센서에 의해 실내 조도를 감지하고 기준조

4) Architectural Institute of Japan, Environmental Design of Light and Color, Sungandang, 2010.

5) National IT Industry Promotion Agency, IT-based guidelines for energy saving system, 2011.12.

6) Ministry of Land, Infrastructure and Transport, The Development of mutual compensated Illumination System with the Artificial lamp and Natural Solar light, Research Report, 2012.

도에 도달하지 못하는 경우, 디밍 제어기를 통해 LED용 SMPS(Switch mode power suply)를 자동으로 제어하여 기준조도를 만족토록 하는 기술이다. 하이브리드 디밍시스템은 다음과 같은 프로세서로 구동이 된다.

- ① 감지 센서를 통한 재실자 유무 판단 또는 전원 on/off
- ② 조도측정센서를 실 천정부에 설치하여 실내 조도를 측정
- ③ 측정된 조도값을 제어용 디밍 컨트롤러로 전송
- ④ 전송된 조도값을 사전에 설정된 기준 조도와 비교하여 인공조명 보상값을 선정하고 디밍 컨트롤러로 전송하여 소등 시 0%부터 최대 100% 까지 n 단계(n은 0~82 단계의 I형 파라미터 값임)로 밝기로 분할하여 LED 인공조명을 제어 (최소밝기에서 최대 밝기 변화시간 5~20초 설정 가능)

제안된 하이브리드 디밍시스템의 주요 구성은 Fig. 3과 같으며, 주요 기능은 다음과 같다.

Fig. 3 Major components

- ① 재실자 감지센서(MS : Moving Sensor)
재실자 감지센서는 실내에 재실자 유무에 따라서 on/off를 판단하는 기능을 수행한다.

- ② 디밍제어기(DCLS : Dimming Controller with Light Sensor)

디밍제어기는 균등광량 조절이 가능하도록 하는데 필요한 핵심 요소로 인공광원(LED)의 직류 전원공급장치(예, 디밍전용 SMPS)로 전달되는 전류 또는 전압을 자동으로 제어하는 기능을 수행한다.

- ③ 패널제어기(PCDC : Panel Controller for Dimming Controller)

패널제어기는 사용자가 디밍제어기를 조작하는데 필요한 파라미터들을 조작할 수 있도록 다양한 기능을 제공하는 장치를 의미한다.

- ④ 원격제어기(RCDC : Remote Controller for Dimming Controller)

디밍제어기의 상세설정을 변경하는 제어기로 최대밝기, 현재밝기, 디밍속도를 설정할 수 있다.

- ⑤ 광측정 센서(LSDC : Light Sensor for Dimming Controller)포토 센서)

적용 실의 조도 값을 실시간 측정하여 그 신호를 제어기로 전달하는 기능을 수행한다.

Fig. 4에는 디밍시스템의 동작 알고리즘을 보인다. 설정값과 센서입력값의 대소에 따라 램프 출력력을 증감시켜 설정값을 항상 유지토록 한다.

Fig. 4 Operating algorithm

4. 하이브리드 디밍시스템의 성능평가

4.1 성능평가 조건 및 방법

본 절에서는 하이브리드 디밍시스템의 성능평가와 결과 및 분석을 보인다.

성능평가를 위한 항목은 디밍시스템의 정상 작동 여부 확인 및 외부 태양광에 의한 간섭에 대한 주 센서와 보조 센서의 정상 작동 여부 검증의 두 가지이다. 측정에 사용된 자연조명(태양광조명)시스템은 렌즈-광케이블 방식의 추적식 시스템을 적용하였다.

디밍시스템의 정상작동 여부 및 성능평가를 위한 측정 조건은 Table 1과 같다. Fig. 5와 같이 측정환경을 조성하고 외부 법선 및 수평면 조도센서는 옥외에 설치되어 있는 자연조명(태양광조명)시스템에 설치하고 실내조도 측정용 조도센서를 다음 Fig. 6과 같이 배치한다.

Table 1 Measurement conditions

Category	Contents
Estimation model	Hybrid dimming system
Day and time & spot	- July 13, 2013 ~ July 29, 2013 - Miryang Institute
Room environment	- Lighting area : 36m ² (6000×6000×2500mm) - Artificial light source : LED(Cool White) - Light diffuser : 6EA (600×300mm) - Based Illumination : 300lx at the center

조도센서는 측정면적에 따라 KS C 7612 조도측정법에 의거하여 배치하고 디밍센서 옆에 조도센서를 부착하여 디밍센서에 전달되는 조도값을 확인하였다. 측정시간은 상시 데이터를 수집하며 측정간격은 30초에서 1분으로 하였다. 디밍시스템의 기준조도 설정 값은 측정

실 중심부에서 300lx로 하였다.

Fig. 5 Measurement environment

Fig. 6 Installation of indoor illumination sensor

4.2 성능평가 결과 및 분석

(1) 디밍시스템의 정상 작동여부 검증

성능평가는 2013. 07. 17. ~29까지 일별 04:00 ~ 21:00시까지 이루어졌으며, 데이터수집 기간 중 기준조도 이하로 떨어지는 구간이 발생하지 않는 것으로 보아 정상적인 작동이 되고 있음을 확인할 수 있었다. 수집된 데이터를 기

상상황에 따른 특정 3일을 선정하였으며 Table 2와 같다.

Table 2 Measurement date

Sort	July 21	July 23	July 25
Weather	Cloud	Rain	Haze
Duration of Sunshine	4.8hr	0.0hr	10.2hr
Sunrise	5:25	5:26	5:28
Sunset	19:37	19:36	19:35

다음 Fig. 7~Fig. 12에는 특정일의 시간대별 외부조도, 실내평균조도 및 디밍센서 주변의 조도 그래프를 보인다.

Fig. 7과 Fig. 8(측정일: 2013. 07. 21)은 구름이 많은 날로 외부조도 변화폭이 큼에 따라 자연조명의 실내 유입량과 실내평균조도 변화가 크지만 설정 기준조도 이하로 낮아지는 경우는 발생하지 않았다. 일일 최대 외부조도는 142,200lx, 실내평균조도는 1,307lx로 나타났으며, 디밍센서 주변 최대 조도는 주 센서 726lx, 보조센서 372lx를 보였다.

Fig. 9 및 Fig. 10(측정일: 2013. 07. 23)은 비로 인해 일조시간이 0시간으로 측창에서 산란광만 유입되는 상태로 실내평균조도가 균일하게 유지되는 것을 볼 수 있다. 일일 최대 외부조도는 71,500lx, 실내평균조도는 550lx로 나타났으며, 디밍센서 주변 최대 조도는 주 센서 269lx, 보조센서 216lx를 보였다.

Fig. 11 및 Fig. 12(측정일: 2013. 07. 25)는 박무/연무 상황이나 일조시간이 10.2시간인 맑은 날로 외부조도 변화폭이 작고 자연조명은 안정되게 공급할 수 있는 조건이었다. 일일 최대 외부조도는 116,800lx, 실내평균조도는 1,363lx로 나타났으며, 디밍센서 주변 최대 조

도는 주 센서 730lx, 보조센서 280lx로 나타났다.

(2) 태양광 간섭 시 센서정상작동 검증

상기의 측정결과와 같이 설정된 실내 기준조도(300lx) 이상으로 정상적인 동작이 이루어지고 있음을 확인하였다. 또한, 전체 측정일에 대해 유사한 경향의 결과 그래프를 나타내었으며, 실내 설정조도보다 측정된 실내평균조도가 다소 높게 측정되었으며, 이는 12시 이후부터 Fig. 13과 같이 측정실의 남서향으로 개방된 측창을 통하여 태양광이 유입된 것에 따른 결과로 분석된다.

Fig. 7 Incoming sunlight through side window

또한, 본 논문에서는 측창(남서향)을 통한 태양광의 유입에 따른 주 센서와 보조 센서의 간섭 발생 여부를 확인하였으며, Table 3에는 7월 25일(맑은 날)을 기준으로 한 결과를 보인다.

Table 3에서와 같이 05:00~19:00 까지의 측정 전시간대에서 태양광 간섭에 의한 실내 설정조도(300lx) 이하로 낮아지는 시간은 발생하지 않음을 알 수 있다. 측창(남서향)을 통한 태양광의 유입으로 11시부터 창측 부분의 조도가 점차 오르기 시작하여 15~16시경에

최대치를 보인 후 점차 감소되었으며 이는 14:00경부터 직달광의 유입에 따른 현상으로 판단된다.

5. 결 론

본 논문에서는 자연조명과 인공조명이 병행 적용된 하이브리드 디밍시스템을 소개하고 성능평가를 하였다. 36m²의 조명면적에 600×300 mm 크기의 6대의 산광기를 설치하고 실내조도 성능평가를 통한 디밍시스템의 정상 작동여부 및 외부 태양광의 간섭에 대한 주 센서와 보조 센서의 정상 작동 여부를 검증하였다.

성능평가 결과, 디밍시스템의 정상 작동 여부는 측정 전 일자에 걸쳐 설정된 기준조도 이하로 떨어지는 구간이 발생하지 않아 정상 작동되고 있음을 확인하였다. 또한, 외부 태양광 유입에 의한 주 센서와 보조 센서의 정상 작동 여부도 태양광의 유입이 많았던 7월 25 일자를 기준으로 분석한 결과 정상적인 작동이 이루어짐을 확인하였다.

이상과 같이 개발된 하이브리드 디밍시스템은 고려했던 2가지 측정항목에 대해 모두 만족하는 결과를 보임을 확인하였다. 따라서 하이브리드 디밍시스템을 통해 실내 균제도 확보, 외부환경 변화에 따른 실내 조도 변화의 최소화, 소요조도 확보와 양호한 시 환경 제공은 물론 재실자의 시 쾌적성의 확보가 가능할 것으로 기대된다.

차후 연구과제로는 하이브리드 디밍시스템이 포함된 자연조명(태양광조명)시스템과 일반 실 조건에서 기존조명(형광램프, LED 램프) 대비 에너지 절감효과를 실측을 통해 검증하고 데이터를 확보하고자 한다.

후 기

본 연구는 (주)한화건설 기술연구소와의 공동 개발과제로 수행되었음.

Reference

1. Han. S.P., A Study on Daylighting Control Method for Securing Visual Comfort and Reducing Lighting Loads on Interior Lighting Environment, Journal of the Korea Solar Energy Society, Vol. 32, No. 6, 2012, pp.100~105.
2. Choi. S.H., Kim. H.B., Gang. S.D., and Nam. S.B., Interior Architectural Lighting, Kimoonang, 2007.
3. Park. H.J., Lee. D.H., Lighting Hand Book, Sungandang, 2010.
4. Architectural Institute of Japan, Environmental Design of Light and Color, Sungandang, 2010.
5. National IT Industry Promotion Agency, IT-based guidelines for energy saving system, 2011.12.
6. Misistry of Land, Infrastructure and Transport, The Development of mutual compensated Illumination System with the Artficial lamp and Natural Solar light, Research Repot, 2012.

Fig. 8 Result graph(July 21, 2013)
Outer illumination & indoor averager illumination

Fig. 11 Result graph(July 23, 2013)
Indoor averager illumination & surroundings illumination

Fig. 9 Result graph(July 21, 2013)
Indoor averager illumination & surroundings illumination

Fig. 12 Result graph(July 25, 2013)
Outer illumination & indoor averager illumination

Fig. 10 Result graph(July 23, 2013)
Outer illumination & indoor averager illumination

Fig. 13 Result graph(July 25, 2013)
Indoor averager illumination & surroundings illumination

Table 3 Distribution of indoor average illumination(July 25, 2013)